

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
14 juin 2001 (14.06.2001)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 01/42855 A2

(51) Classification internationale des brevets⁷: G03F 1/14

(72) Inventeurs; et

(21) Numéro de la demande internationale:

PCT/FR00/03429

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement): BABON-NEAU, Danièle [FR/FR]; 90, avenue du jardinet, F-91390 Morsang S/Orge (FR). MARMORET, Rémy [FR/FR]; 76, route des Charmes, F-78320 Levis Saint Nom (FR). BONNET, Laurence [FR/FR]; 60, chemin de Tabor, F-91310 Linas (FR).

(22) Date de dépôt international:

7 décembre 2000 (07.12.2000)

(25) Langue de dépôt:

français

(74) Mandataire: LEHU, Jean; Brevatome, 3, rue du Docteur Lancereaux, F-75008 Paris (FR).

(26) Langue de publication:

français

(30) Données relatives à la priorité:

99/15470

8 décembre 1999 (08.12.1999) FR

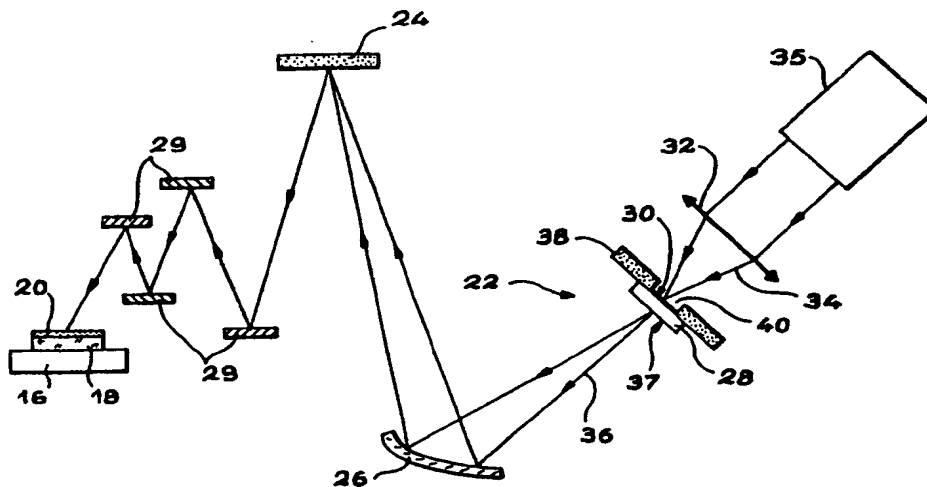
(81) États désignés (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US): COM-MISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE [FR/FR]; 31-33, rue de la Fédération, F-75752 Paris 15ème (FR).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: LITHOGRAPHY DEVICE WHICH USES A SOURCE OF RADIATION IN THE EXTREME ULTRAVIOLET RANGE AND MULTI-LAYERED MIRRORS WITH A BROAD SPECTRAL BAND IN THIS RANGE

(54) Titre: DISPOSITIF DE LITHOGRAPHIE UTILISANT UNE SOURCE DE RAYONNEMENT DANS LE DOMAINE EXTREME ULTRAVIOLET ET DES MIROIRS MULTICOUCHES A LARGE BANDE SPECTRALE DANS CE DOMAINE



(57) Abstract: The invention relates to a lithography device which uses a source of radiation in the extreme ultraviolet range, and to multi-layered mirrors with a broad spectral band in this range. Each mirror (24, 26, 29) comprises a stack of layers consisting of a first material and layers consisting of a second material alternating with said first layers. The atomic number of the first material is greater than of the second material. The thickness of pairs of adjacent layers is a monotonic function of their depth in the stack. The source (22) comprises at least one target (28) which emits the radiation by interacting with a laser beam that is focused on one of its surfaces. The device uses part (36) of the radiation emitted from the other surface. The invention can be used for producing integrated circuits with a high degree of integration.

[Suite sur la page suivante]

WO 01/42855 A2



(84) États désignés (régional): brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

Publiée:

— *Sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport.*

(57) **Abrégé:** Dispositif de lithographie utilisant une source de rayonnement dans le domaine extrême ultraviolet et des miroirs multicouches à large bande spectrale dans ce domaine. Chaque miroir (24, 26, 29) comprend un empilement de couches d'un premier matériau et de couches d'un deuxième matériau alternant avec les précédentes. Le premier matériau a un numéro atomique supérieur à celui du deuxième. L'épaisseur de paires de couches adjacentes est une fonction monotone de la profondeur dans l'empilement. La source (22) comprend au moins une cible (28) qui émet le rayonnement par interaction avec un faisceau laser focalisé sur l'une de ses faces. On utilise une partie (36) du rayonnement émise à partir de l'autre face. L'invention s'applique à la fabrication de circuits intégrés à haut degré d'intégration.

**DISPOSITIF DE LITHOGRAPHIE UTILISANT UNE SOURCE DE
RAYONNEMENT DANS LE DOMAINE EXTRÊME ULTRAVIOLET ET DES
MIROIRS MULTICOUCHES À LARGE BANDE SPECTRALE DANS CE
DOMAINE**

5

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention concerne un dispositif de lithographie utilisant une source de rayonnement extrême ultraviolet ainsi que des miroirs multicouches prévus pour réfléchir ce rayonnement extrême ultraviolet que l'on appelle aussi « rayonnement EUV » ou « rayonnement X-UV ».

La longueur d'onde d'un tel rayonnement est comprise dans le domaine allant de 8 nm à 25 nm.

L'invention s'applique tout particulièrement à la fabrication de circuits intégrés à très haut degré d'intégration, l'utilisation d'un rayonnement EUV permettant de diminuer le pas de gravure de tels circuits.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

On connaît principalement deux techniques de production d'un rayonnement EUV intense. Elles reposent toutes deux sur la collection des photons produits, grâce au processus microscopique d'émission spontanée, par un plasma chaud et peu dense qui est engendré au moyen d'un laser.

La première technique utilise un jet de xénon irradié par un laser YAG dont la puissance est voisine de 1 kW. En effet, lorsque la nature du gaz et les conditions de détente dans le vide (« vacuum ») sont bien choisies, il se crée naturellement dans le jet, par interaction à plusieurs corps, des agrégats (« clusters »). Ce sont des macro-particules qui peuvent contenir jusqu'à un million d'atomes et présentent une densité suffisamment élevée (environ un dixième de la densité du solide) pour absorber le faisceau laser et chauffer ainsi les atomes du gaz environnant qui peuvent alors, par fluorescence, émettre des photons.

La deuxième technique utilise la couronne d'un plasma de numéro atomique élevé, obtenu par interaction d'un faisceau laser, qui provient d'un laser KrF et dont l'intensité est voisine de 10^{12} W/cm², et d'une cible solide de forte épaisseur (au moins 20 µm).

Le faisceau laser est focalisé sur une face de cette cible, appelée « face avant » et l'on utilise le rayonnement EUV émis par cette face avant et engendré par interaction du faisceau laser et du matériau de la cible.

Que l'on utilise la première ou la deuxième technique, le rayonnement EUV obtenu comprend un spectre continu en énergie et d'intenses raies d'émission.

Les sources de rayonnements EUV qui mettent en œuvre la première ou la deuxième technique présentent les inconvénients suivants.

Ces sources ont une émission isotrope, présentant donc une grande divergence angulaire, et le spectre du rayonnement EUV émis comporte des raies de faible largeur spectrale.

5 A chaque source, il faut alors associer des moyens optiques de collection complexes, permettant de récupérer le maximum du large domaine angulaire d'émission de la source.

10 Ces moyens optiques formés à partir de miroirs multicouches, doivent être réalisés de façon que leurs réponses spectrales soient centrées sur la raie d'émission choisie pour l'insolation d'un échantillon, en limitant au mieux la perte d'intensité due aux multiples réflexions sur les miroirs
15 multicouches.

Un exemple connu de dispositif de lithographie utilisant des rayonnements EUV, dont les longueurs d'onde se situent par exemple aux environs de 10 nm à 14 nm, est schématiquement représenté sur les
20 figures 1 et 2. Un tel dispositif est également appelé « dispositif de lithographie EUV ».

Ce dispositif connu est destiné à insoler un échantillon E. Il s'agit en général d'un substrat semiconducteur 2 (par exemple en silicium) sur lequel
25 est déposée une couche de résine photosensible (« photoresist layer ») 3 et l'on veut insoler cette couche suivant un motif (« pattern ») déterminé.

Après insolation de la couche 3, on développe cette dernière et l'on peut alors graver
30 (« etch ») le substrat 2 suivant le motif.

Le dispositif des figures 1 et 2 comprend :

- un support 4 de l'échantillon,
- un masque 5 comprenant le motif déterminé sous une forme agrandie,
- une source 6 de rayonnement dans le domaine extrême ultraviolet (figure 2),
- des moyens optiques 7 de collection et de transmission du rayonnement au masque 5, ce dernier fournissant une image du motif sous forme agrandie, et
- des moyens optiques 8 de réduction de cette image et de projection de l'image réduite sur la couche 3 de résine photosensible (choisie de façon à être sensible au rayonnement incident).

La source connue 6 de rayonnement EUV comprend des moyens de formation d'un jet J d'agrégats (« clusters ») de xénon. Seule la buse 9 que comprennent ces moyens de formation est représentée sur la figure 2.

La source comprend aussi un laser (non représenté) dont le faisceau F est focalisé en un point S du jet J par des moyens optiques de focalisation 10. L'interaction de ce faisceau F et des agrégats de xénon engendre le rayonnement EUV référencé R.

Le point S est visible sur la figure 1 (mais pas la buse ni le jet d'agrégats de xénon).

Parmi les moyens optiques 7 de collection et de transmission du dispositif se trouve un collecteur optique 11 pourvu d'une ouverture centrale 12 pour laisser passer le faisceau laser focalisé F.

Ce collecteur optique 11 est placé en regard du jet d'agrégats de xénon et destiné à

collecter une partie du rayonnement EUV émis par les agrégats de xénon et à transmettre ce rayonnement collecté 13 vers d'autres composants optiques faisant également partie des moyens optiques 7 de collection et de transmission.

Ces moyens optiques 7 de collection et de transmission, le masque 5, qui est utilisé en réflexion, et les moyens optiques 8 de réduction et de projection sont des miroirs multicouches 14 qui 10 réfléchissent sélectivement le rayonnement EUV et sont conçus de telle façon que leurs réponses spectrales soient centrées sur la longueur d'onde choisie pour l'insolation de la couche de résine photosensible 3.

On précise que le motif suivant lequel on 15 veut graver l'échantillon est formé sur le miroir multicouches correspondant au masque 5, avec un facteur de grandissement adapté aux moyens optiques de réduction et de projection, et ce miroir multicouches est recouvert, sauf au niveau de ce motif, d'une couche 20 (non représentée) qui est apte à absorber le rayonnement EUV incident.

Dans le domaine des longueurs d'onde des rayonnements EUV, la résolution spectrale $\Delta\lambda/\lambda$ des miroirs vaut environ 4%.

25 La largeur du domaine spectral utile pour l'insolation est obtenue par convolution de la largeur spectrale de la source de rayonnement EUV et de cette résolution spectrale.

Les miroirs multicouches connus, sur 30 lesquels on reviendra par la suite et qui sont utilisés dans le dispositif de lithographie des figures 1 et 2,

présentent en particulier l'inconvénient suivant : leur bande spectrale, qui est centrée sur la longueur d'onde choisie pour l'insolation, est étroite.

Il en résulte une réduction de l'efficacité
5 du dispositif de lithographie.

Ces miroirs multicouches EUV présentent également l'inconvénient de se déformer lorsqu'ils sont exposés au flux thermique important, provenant de la source de rayonnement EUV du dispositif.

10 EXPOSÉ DE L'INVENTION

Un but de l'invention est de proposer un dispositif de lithographie EUV beaucoup plus efficace que les dispositifs connus, considérés plus haut.

Le dispositif objet de l'invention comprend
15 une source de rayonnement EUV qui est anisotrope. Ce rayonnement EUV est émis par la face arrière d'une cible solide d'épaisseur appropriée sur la face avant de laquelle est focalisé un faisceau laser.

Une telle source anisotrope permet
20 d'augmenter la partie utile du faisceau de rayonnement EUV et de simplifier la collection de ce rayonnement.

De plus, le dispositif objet de l'invention comprend des miroirs multicouches aptes à réfléchir le rayonnement EUV engendré, chaque miroir multicouches
25 ayant une bande spectrale (encore appelée « largeur spectrale » ou « bande passante ») plus importante que celle des miroirs multicouches connus, mentionnés plus haut.

La source utilisée dans l'invention, dont le spectre d'émission est plus proche du corps noir sur un large domaine spectral, et les miroirs multicouches à large bande spectrale, également utilisés dans l'invention, coopèrent pour conduire à un dispositif apte à fournir, à l'échantillon que l'on veut insoler, un rayonnement EUV plus intense que dans l'art antérieur.

Un autre but de l'invention est de minimiser les déformations thermiques des miroirs multicouches qui sont utilisés dans l'invention lorsque ces miroirs multicouches sont exposés au flux intense de rayonnement EUV.

De façon précise, la présente invention a pour objet un dispositif de lithographie comprenant :

- un support d'un échantillon destiné à être insolé suivant un motif déterminé,
 - un masque comprenant le motif déterminé sous une forme agrandie,
 - une source de rayonnement dans le domaine extrême ultraviolet,
 - des moyens optiques de collection et de transmission du rayonnement au masque, ce dernier fournissant une image du motif sous forme agrandie, et
 - des moyens optiques de réduction de cette image et de projection de l'image réduite sur l'échantillon,
- le masque, les moyens optiques de collection et de transmission et les moyens optiques de réduction et de projection comprenant des miroirs multicouches, chaque miroir multicouches comprenant un substrat et, sur ce substrat, un empilement de couches d'un premier

matériau et de couches d'un deuxième matériau qui alternent avec les couches du premier matériau, ce premier matériau ayant un numéro atomique supérieur à celui du deuxième matériau, les premières et deuxièmes
5 couches coopérant pour réfléchir le rayonnement extrême ultraviolet, l'empilement ayant une surface libre sur laquelle arrive le rayonnement à réfléchir, ce dispositif étant caractérisé en ce que la source comprend au moins une cible solide, ayant des première
10 et deuxième faces, cette cible étant apte à émettre le rayonnement extrême ultraviolet par interaction avec un faisceau laser focalisé sur la première face de la cible, cette cible étant apte à émettre, de façon anisotrope, une partie du rayonnement extrême
15 ultraviolet à partir de la deuxième face de cette cible, en ce que les moyens optiques de collection et de transmission sont prévus pour transmettre, au masque, la partie du rayonnement extrême ultraviolet provenant de la deuxième face de la cible de la source,
20 et en ce que l'épaisseur de paires de couches adjacentes de l'empilement de couches que comprend chaque miroir est une fonction monotone de la profondeur dans l'empilement, cette profondeur étant comptée à partir de la surface libre de l'empilement.

25 Par « fonction monotone », on entend une fonction qui est soit croissante soit décroissante.

Selon un mode de réalisation préféré du dispositif objet de l'invention, la cible contient un matériau qui est apte à émettre le rayonnement extrême
30 ultraviolet par interaction avec le faisceau laser et

l'épaisseur de la cible est comprise dans un intervalle allant d'environ 0,05 μm à environ 5 μm .

De préférence, la cible contient un matériau qui est apte à émettre le rayonnement extrême ultraviolet par interaction avec le faisceau laser et dont le numéro atomique appartient à l'ensemble des numéros atomiques allant de 28 à 92.

Selon un mode de réalisation particulier du dispositif objet de l'invention, ce dispositif comprend une pluralité de cibles qui sont rendues solidaires les unes des autres, le dispositif comprenant en outre des moyens de déplacement de cette pluralité de cibles pour que ces cibles reçoivent successivement le faisceau laser.

Le dispositif peut comprendre en outre des moyens de support auxquels sont fixées les cibles et qui sont aptes à laisser passer le faisceau laser en direction de ces cibles, les moyens de déplacement étant prévus pour déplacer ces moyens de support et donc les cibles.

Ces moyens de support peuvent être aptes à absorber des rayonnements émis par la première face de chaque cible qui reçoit le faisceau laser et à réémettre ces rayonnements vers cette cible.

Selon un premier mode de réalisation particulier du dispositif objet de l'invention, les moyens de support comprennent une ouverture en regard de chaque cible, cette ouverture étant délimitée par deux parois sensiblement parallèles l'une à l'autre et perpendiculaires à cette cible.

Selon un deuxième mode de réalisation particulier, les moyens de support comprennent une ouverture en regard de chaque cible, cette ouverture étant délimitée par deux parois qui vont vers la cible
5 en s'écartant l'une de l'autre.

Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, le dispositif comprend en outre des moyens auxiliaires fixes qui sont aptes à laisser passer le faisceau laser en direction de la cible, à absorber le
10 faisceau laser en direction de la cible, à absorber des rayonnements émis par la première face de cette cible et à réémettre ces rayonnements vers cette cible.

Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, l'empilement que comporte chaque miroir multicouches est subdivisé en ensembles d'au moins une
15 paire de première et deuxième couches et l'épaisseur de ces ensembles est une fonction monotone de la profondeur dans l'empilement, cette profondeur étant comptée à partir de la surface libre de l'empilement.

20 Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, les accroissements d'épaisseur de ces ensembles forment une progression arithmétique.

De préférence, les première et deuxième couches de chaque ensemble ont sensiblement la même
25 épaisseur.

A titre d'exemple, les premier et deuxième matériaux peuvent être respectivement le molybdène et le béryllium ou le molybdène et le silicium.

Le substrat peut être par exemple en
30 silicium ou en germanium.

De préférence, l'épaisseur du substrat est comprise dans l'intervalle allant d'environ 5 mm à environ 40 mm et l'épaisseur de l'empilement vaut environ 1 μ m.

5 Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, chaque miroir multicouches est muni de moyens de refroidissement de ce miroir multicouches pour en réduire les déformations lors d'un éclairage par le rayonnement EUV.

10 De préférence, ces moyens de refroidissement sont prévus pour refroidir le miroir jusqu'à une température environ égale à 100 K.

On utilise par exemple des moyens de refroidissement du miroir par l'hélium liquide, le fréon, l'azote liquide
15 ou un fluide de refroidissement caloporteur à basse température proche de 0 K.

L'échantillon que l'on veut insoler peut comprendre un substrat semiconducteur sur lequel est déposée une couche de résine photosensible qui est
20 destinée à être insolée suivant le motif déterminé.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés ci-après, à titre purement indicatif et
25 nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :

- les figures 1 et 2 illustrent schématiquement un dispositif connu de lithographie EUV et ont déjà été décrites,

- la figure 3 est une vue schématique d'un mode de réalisation particulier du dispositif de lithographie objet de l'invention,
- 5 ▪ la figure 4 est une vue en perspective schématique d'un ruban formant un ensemble de cibles qui sont utilisables dans l'invention,
- les figures 5 et 6 sont des vues en perspectives schématiques et partielles de sources de rayonnement EUV utilisables dans l'invention,
- 10 ▪ la figure 7 est une vue en perspective schématique et partielle d'une autre source de rayonnement EUV utilisable dans l'invention,
- la figure 8 est une vue en coupe schématique d'un miroir multicouches connu,
- 15 ▪ la figure 9 montre la courbe représentative des variations du pouvoir réflecteur en fonction de l'énergie pour ce miroir multicouches connu (courbe I) et pour un miroir multicouches utilisable dans l'invention (courbe II),
- 20 ▪ la figure 10 est une vue en coupe schématique d'un mode de réalisation particulier d'un miroir multicouches utilisable dans l'invention,
- la figure 11 illustre schématiquement la courbure générale subie par un miroir multicouches soumis à un flux thermique important,
- 25 ▪ la figure 12 illustre schématiquement une déformation locale subie par un miroir multicouches soumis à un flux thermique important,
- 30

- la figure 13 montre la courbe représentative des variations de la conductivité thermique k (courbe I) et du coefficient de dilatation thermique α (courbe II), pour le silicium, en fonction de la température,
- la figure 14 montre la courbe représentative des variations du rapport α/k en fonction de la température, et
- la figure 15 est une vue schématique de moyens de refroidissement d'un miroir multicouches, qui sont utilisables dans l'invention.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

- Un plasma créé par interaction d'une cible solide et d'un faisceau laser comporte plusieurs zones. Il y a certes la zone d'interaction que l'on appelle « la couronne » mais il y a aussi, de façon successive et simplifiée :
- une zone appelée « zone de conduction » où le faisceau laser ne pénètre pas et dont l'évolution est commandée par les conductions thermique, électronique et radiative, une partie des photons émis par les ions de la couronne étant émise en direction de la partie froide et dense de la cible, et
 - la zone d'absorption et de ré-émission où les photons d'énergies élevées, qui arrivent de la couronne ou de la zone de conduction, sont absorbés par la matière dense et froide et contribuent ainsi au chauffage de cette matière et donc à l'émission de photons d'énergies inférieures.

Ces derniers forment une onde radiative qui possède, dans le milieu, une direction privilégiée de propagation le long du gradient de température et qui peut, lorsque la cible n'est pas trop épaisse, sortir
5 de la cible par la face arrière de celle-ci, face qui est géométriquement opposée à celle où le laser a interagi. L'efficacité de conversion en la face arrière (rapport entre l'énergie radiative, toutes longueurs d'onde comprises, à l'énergie laser incidente) peut
10 être voisine de 30%.

Cette émission à partir de la face arrière de la cible se caractérise par une distribution spectrale très différente de celle de la face avant car les conditions de température et de densité des zones
15 responsables de l'émission de photons sont très différentes. Le rayonnement émis possède naturellement une distribution angulaire, même avec une cible parfaitement plane : ce rayonnement n'est pas isotrope.

De plus, la vitesse caractéristique de
20 détente de la face arrière est inférieure, de plusieurs ordres de grandeur, à celle de la face avant, la majorité de l'énergie étant sous forme de rayonnement.

Ainsi utilise-t-on, dans la présente invention, le rayonnement EUV émis par la face arrière
25 d'une cible solide d'épaisseur appropriée, sur la face avant de laquelle on focalise le faisceau laser. On obtient de cette façon un rayonnement EUV anisotrope et l'on réduit au minimum les débris de matière.

Pour engendrer le rayonnement EUV, la cible
30 contient, de préférence, un matériau dont le numéro atomique Z est tel que $28 \leq Z \leq 92$.

On peut mélanger ou associer à ce matériau d'autres matériaux également aptes à engendrer, par interaction avec le faisceau laser, un rayonnement EUV possédant les bonnes caractéristiques spectrales.

5 En outre, on peut éventuellement lui associer un ou plusieurs autres matériaux destinés à filtrer un rayonnement parasite.

 L'épaisseur de la cible, contenant le matériau générateur de rayonnement EUV, ou élément
10 actif, est de préférence comprise entre 0,05 μm et 5 μm .

 De préférence, on optimise la cible pour obtenir une émission efficace par la face arrière, sans que la détente de la matière soit trop importante.

15 On adapte aussi les caractéristiques du laser (en particulier la durée et la forme temporelle des impulsions lumineuses qu'il fournit, la longueur d'onde et l'intensité) à l'obtention des conditions thermodynamiques requises dans la cible pour une
20 conversion EUV optimale en la face arrière dans la gamme de longueurs d'onde souhaitée qui va par exemple de 10 nanomètres à 20 nanomètres.

 Sur la figure 3 on a représenté schématiquement un mode de réalisation particulier du
25 dispositif de lithographie objet de l'invention.

 Ce dispositif de lithographie comprend un support 16 d'un substrat semiconducteur 18, par exemple un substrat de silicium, sur lequel est déposée une
couche 20 de résine photosensible, destinée à être
30 insolée suivant un motif déterminé.

Outre une source 22 de rayonnement EUV, le dispositif comprend :

- un masque 24, comprenant le motif sous une forme agrandie,
- 5 - des moyens optiques 26 de collection et de transmission, au masque 24, de la partie de rayonnement EUV fournie par la face arrière de la cible solide 28 que comporte la source, le masque 24 fournissant une image de ce motif sous forme
10 agrandie, et
- des moyens optiques 29 de réduction de cette image et de projection de l'image réduite sur la couche 20 de résine photosensible.

La cible est par exemple faite d'un
15 matériau tel que l'argent, le cuivre, l'étain, le samarium ou le rhénium et a une faible épaisseur (par exemple de l'ordre de 1 μm).

Pour engendrer le rayonnement EUV destiné à insoler la couche de résine photosensible, on focalise
20 sur une première face 30 de la cible, appelée « face avant », par l'intermédiaire de moyens optiques de focalisation 32, un faisceau pulsé 34 émis par un laser pulsé 35. La cible 28 émet alors un rayonnement EUV anisotrope 36 à partir de sa face arrière 37 qui est
25 opposée à la face avant 30.

On précise que la source 22, les moyens optiques 26 de collection et de transmission, le collecteur 26, le masque 24, les moyens optiques 29 et le support 16 portant le substrat 20 sont placés dans
30 une enceinte (non représentée) où l'on établit une basse pression. Le faisceau laser est envoyé dans cette

enceinte à travers un hublot approprié (non représenté).

Dans l'exemple de la figure 3, les moyens optiques de collection 26 consistent en un collecteur
5 optique qui est disposé en regard de la face arrière 37 de la cible 28, prévu pour collecter le rayonnement EUV émis de façon anisotrope par cette face arrière, mettre en forme ce rayonnement et l'envoyer vers le masque 24.

Dans le dispositif de la figure 3, il n'est
10 donc pas nécessaire de prévoir des moyens optiques supplémentaires entre le collecteur 26 et le masque 34, d'où une simplification des moyens optiques du dispositif de lithographie.

On voit que la cible de faible épaisseur 28
15 est fixée par sa face avant 30 à un support 38 pourvu d'une ouverture 40 permettant le passage du faisceau laser focalisé 34 pour que celui atteigne cette face avant.

En pratique, étant donné qu'une impulsion
20 laser détruit localement la cible de faible épaisseur, on ne peut pas envoyer deux fois le faisceau laser au même endroit de la cible. C'est pourquoi on munit le support 38 de moyens de déplacement (non représentés sur la figure 3) permettant d'exposer successivement
25 différentes zones de la cible au faisceau laser focalisé.

Ceci est schématiquement illustré par la figure 4 où l'on voit une cible solide 42 de faible épaisseur (par exemple 1 μ m) sous forme d'un ruban fixé
30 à un support souple 44 qui est par exemple en matière

plastique et pourvu d'une ouverture longitudinale 46 pour laisser passer le faisceau focalisé 34.

L'ensemble cible-support forme un ruban composite souple qui est déroulé à partir d'une première bobine 48 et s'enroule sur une deuxième bobine 50 susceptible d'être mise en rotation par des moyens appropriés (non représentés), ce qui permet de déplacer la cible en regard du faisceau laser focalisé dont les impulsions atteignent successivement différentes zones de la cible. On peut alors considérer qu'on a plusieurs cibles assemblées les unes aux autres.

Dans une variante (non représentée), on peut encore utiliser un ruban souple en matière plastique en tant que support de cible et fixer plusieurs cibles à intervalles réguliers sur ce support, une ouverture étant alors prévue dans le support en regard de chaque cible pour laisser passer le faisceau focalisé.

De préférence, au lieu d'un ruban en matière plastique, on utilise, en tant que support de cible, un ruban 52 (figure 5) par exemple en cuivre, en argent, en étain, en samarium ou en rhénium, apte à absorber le ou les rayonnements émis par la face avant de la cible 42 sous l'impact du faisceau focalisé 34 et à réémettre ce ou ces rayonnements en direction de cette cible (qui est mobile avec le ruban 52). Ce ruban 52 a par exemple une épaisseur de l'ordre de 5 μm à 10 μm .

L'ouverture longitudinale permettant le passage du faisceau laser 34 qui est focalisé sur la cible peut être délimitée par deux parois 54 et 56

sensiblement parallèles l'une à l'autre et sensiblement perpendiculaires à la cible comme on le voit sur la figure 5.

Cependant, pour une meilleure absorption du
5 ou des rayonnements émis par la face avant de la cible et une meilleure réémission de ceux-ci vers la cible, il est préférable que les deux parois délimitant l'ouverture aillent en s'écartant l'une de l'autre vers la cible comme on le voit sur la figure 6 où ces deux
10 parois ont les références 55 et 57.

Dans un autre exemple schématiquement représenté sur la figure 7 la cible 42 est fixée à un support mobile 44 du genre de celui qui a été décrit en faisant référence à la figure 4. De plus, dans
15 l'exemple de la figure 7, la source de rayonnement EUV comprend une pièce 58 fixe par rapport au faisceau laser focalisé 34 et disposée en regard de la face avant de la cible.

Cette pièce comprend une ouverture
20 permettant le passage du faisceau laser que l'on focalise sur cette face avant de la cible et l'ouverture dont est pourvue cette pièce va en s'évasant vers la cible et comprend donc deux parois 60 et 62 inclinées par rapport à cette cible et allant en
25 s'éloignant l'une de l'autre vers la cible.

Le ou les rayonnements 64 émis par la face avant de la cible 42 sont alors absorbés par ces parois 60 et 62 et réémis en direction de la face-avant de la cible.

30 Le rayonnement EUV 36 émis par la face arrière de la cible est ainsi plus intense.

Certes, on connaît par un article de H. Hirose et al., Prog. Crystal Growth and Charact., vol.33, 1996, pp.277-280, une source de rayons X utilisant une émission de rayons X par la face arrière d'une cible formée par une feuille d'aluminium dont l'épaisseur vaut 7 μm et dont la face avant est irradiée par un faisceau laser, avec une densité de puissance de 3×10^{13} W/cm².

Mais il convient de noter que la source utilisée dans la présente invention comprend de préférence une cible de faible épaisseur, cette épaisseur étant comprise dans l'intervalle allant d'environ 0,05 μm à environ 5 μm , cette cible étant faite, de préférence, d'un matériau dont le numéro atomique Z est très supérieur à celui de l'aluminium puisque Z est de préférence supérieur ou égal à 28 (et inférieur ou égal à 92).

On précise que le matériau préféré pour former la cible utilisée dans la présente invention est l'étain pour lequel Z vaut 50.

De plus, dans l'invention, on peut utiliser une cible de très faible épaisseur, inférieure ou égale à 1 μm , formée sur un substrat en matière plastique (par exemple un substrat de CH₂ (polyéthylène) de 1 μm d'épaisseur), la face arrière de cette cible (de préférence en étain) - face qui émet le rayonnement EUV utilisé - reposant sur ce substrat. Il est également possible de former, sur la face avant de cette cible, une couche d'or dont l'épaisseur est inférieure à 1000 Å (c'est-à-dire 100 nm).

En revenant à l'article mentionné plus haut, il convient de noter que la cible d'aluminium de 7 μm d'épaisseur n'est pas envisageable pour une émission par sa face arrière lorsqu'on irradie sa face avant par un rayonnement laser de densité de puissance maximale inférieure aux $3 \times 10^{13} \text{ W/cm}^2$ mentionnés dans l'article, et ce, en particulier dans le domaine de la microlithographie, la densité de puissance maximale considérée ci-dessus étant par exemple voisine de 10 10^{12} W/cm^2 .

Il convient également de noter ce qui suit :

Lorsque l'interaction laser a lieu sur un matériau de numéro atomique Z faible, comme l'aluminium ($Z=13$), le transport de l'énergie laser absorbée dans la couronne (côté où le laser interagit : face avant) vers les zones denses et froides (c'est-à-dire vers la face arrière) se fait par conduction thermique électronique. Même dans le cas où la cible est relativement épaisse comme celle proposée dans l'article mentionné plus haut, l'obtention d'une émission anisotrope en face arrière n'est pas du tout garantie.

Par contre, dans le cas d'un matériau de Z élevé, c'est la conduction radiative qui « pilote » la mise en condition de l'intérieur et de l'arrière de la cible. L'anisotropie qui fait tout l'intérêt de la cible utilisée dans la présente invention est directement liée au débouché de cette onde radiative en face arrière, donc au choix d'une épaisseur, dont une valeur optimisée sera donnée dans ce qui suit.

Les profils caractéristiques de températures et de densité électronique dans la cible irradiée par laser sont d'ailleurs très différents suivant que le matériau est de numéro atomique faible ou élevé et également suivant l'épaisseur de cible utilisée.

Un modèle analytique permet de trouver l'épaisseur optimale E_0 qui permet d'optimiser le taux de conversion X en face arrière. E_0 est reliée au numéro atomique Z du matériau de la cible, à la masse atomique A de ce matériau, à la température T (en °K) dans le milieu (elle-même reliée au flux laser absorbé ϕ_a exprimé en W/cm^2), à la longueur d'onde λ du laser (en μm), à la durée d'impulsion D_t (en secondes) et à la densité massique ρ (g/cm^3) par la formule suivante :

$$E_0(\text{en cm}) = 26,22 (A/Z)^{0.5} x T^{0.5} x D_t / \alpha$$

$$\text{avec } \alpha = \rho \times \lambda^2 \times (1 + 0,946 (A/Z)^{0.5})$$

La température (en °K) est proportionnelle à $\phi_a^{2/3}$ et à $\lambda^{4/3}$.

Pour une énergie laser disponible faible (inférieure à 1J), ce qui est généralement nécessaire dans le cadre de la lithographie, car une très forte cadence (supérieure à 1 kHz) est demandée pour réaliser une statistique suffisante au niveau de la résine photosensible (et garantir ainsi que le seuil d'insolation est atteint), et une taille de zone émissive (imposée par un couplage optimum avec le système optique utilisé) donnée (par exemple proche de 300 μm de diamètre), le flux laser tombant sur la cible est faible. En régime nanoseconde, il ne dépasse pas $10^{12} W/cm^2$ à 1,06 μm . De plus, à l'heure actuelle, il

n'est pratiquement pas envisageable de fabriquer des lasers à ces cadences reposant sur un train d'impulsions de 100 ps.

Dans ces conditions, le modèle ci-dessus
5 donne, comme température de milieu qu'il est possible d'atteindre si toute l'énergie est absorbée, une valeur de 30 eV.

Dans ces conditions, pour l'aluminium, l'épaisseur optimale qui optimise le taux de conversion
10 X en face arrière vaut 0,15 μm , ce qui est très éloigné des conditions données dans l'article mentionné plus haut. De plus, avec un matériau tel que l'aluminium, de numéro atomique faible, le rayonnement émis par la face arrière de la cible ne présente pas, a priori, de
15 particularité angulaire : il est sensiblement isotrope ; face avant et face arrière peuvent donc être considérées comme équivalentes.

Avec l'exemple de l'or, on trouve, toujours dans les mêmes conditions, moins de 0,1 μm .

20 En revenant à l'exemple donné plus haut d'une cible en étain, formée sur un substrat en CH_2 (polyéthylène), on donne les précisions suivantes : le polyéthylène, que l'on peut mettre sur la face arrière d'une mince feuille d'étain, et l'or que l'on peut
25 mettre sur la face avant de cette feuille, servent tous deux à limiter l'expansion du matériau émetteur constitué par l'étain avant son chauffage par l'onde radiative, ceci de façon à mieux « enfoncer » les photons dans la zone d'intérêt de la cible. Le
30 polyéthylène en face arrière, qui est légèrement chauffé, est transparent au rayonnement et limite

également la détente et donc un petit peu l'émission de débris de matière.

Avant de décrire un exemple de miroir multicouches utilisable dans l'invention, on revient sur un miroir multicouches connu, destiné à réfléchir des rayonnements du domaine extrême ultraviolet, en faisant référence à la figure 8.

Ce miroir multicouches connu comprend un substrat 64 par exemple en silicium et, sur ce substrat 64, un empilement de couches 66 d'un premier matériau et de couches 68 d'un deuxième matériau qui alternent avec les couches du premier matériau.

Ce premier matériau (par exemple le molybdène) a un numéro atomique supérieur à celui du deuxième matériau (par exemple le silicium).

Les premières et deuxièmes couches coopèrent pour réfléchir les rayonnements du domaine extrême ultraviolet dans un intervalle de longueurs d'onde centré sur une longueur d'onde déterminée.

L'empilement a une surface libre 70 sur laquelle arrivent les rayonnements 40 que l'on veut réfléchir.

Dans ce miroir multicouches connu, l'épaisseur d des paires de couches adjacentes de l'empilement est constante. Cette épaisseur d s'appelle « la distance inter-réticulaire ».

On note θ l'angle d'attaque d'un rayonnement 40 que l'on veut réfléchir. Cet angle est le complémentaire de l'angle d'incidence de ce rayonnement. En outre on note λ la longueur d'onde du rayonnement réfléchi et k l'ordre de réflexion.

L'alternance des couches du premier matériau, ou matériau lourd, et des couches du deuxième matériau, ou matériau léger, induit une variation périodique de l'indice optique en fonction de l'épaisseur. Cette variation permet de réfléchir sélectivement les rayonnements incidents.

En effet, si une onde électromagnétique frappe un grand nombre de couches réfléchissantes équidistantes, les interférences sont partout destructives dans la direction des ondes réfléchies sauf si la différence de marche est égale à un nombre entier de longueurs d'onde.

Ce phénomène de réflexion sélective peut être décrit par une loi analogue à la loi de Bragg :

$$2d \times \sin\theta = k \times \lambda.$$

Sur la figure 9, on a tracé la courbe I représentative des variations du pouvoir réflecteur P (en unités arbitraires) d'un miroir multicouches du genre de celui de la figure 8 en fonction de l'énergie En (en eV) du rayonnement incident, pour des valeurs déterminées de k et θ . La largeur à mi-hauteur de cette courbe I vaut environ 6 eV.

Le miroir multicouches de la figure 8 est donc une structure périodique qui possède une bande passante étroite.

Dans la présente invention, on souhaite utiliser des miroirs multicouches dont la bande passante est large, afin de collecter des flux de photons aussi grands que possible.

Pour obtenir cette augmentation de la bande passante, conformément à l'invention on modifie graduellement la distance inter-réticulaire d lorsque le rayonnement pénètre dans la multicouche.

5 On doit donc choisir la nature et les épaisseurs successives des couches déposées pour adapter la structure du miroir multicouches.

L'optimisation de ce miroir multicouches (en ce qui concerne la nature et les épaisseurs des
10 couches déposées) s'effectue à l'aide d'un code de calcul récursif de transport du faisceau de rayonnement EUV dans l'empilement des couches.

La figure 10 est une vue en coupe longitudinale schématique d'un mode de réalisation
15 particulier de miroirs multicouches utilisables dans l'invention.

Le miroir multicouches de la figure 10 comprend un substrat 74 et, sur ce substrat 74, un empilement de couches 76 d'un premier matériau et de
20 couches 78 d'un deuxième matériau qui alternent avec les couches du premier matériau, ce premier matériau, ou matériau lourd, ayant un numéro atomique supérieur à celui du deuxième matériau, ou matériau léger.

Les premières et deuxièmes couches
25 coopèrent pour réfléchir des rayonnements EUV dans un intervalle de longueur d'onde centrée sur une longueur d'onde déterminée.

On voit aussi sur la figure 10 la surface libre 80 de l'empilement sur laquelle arrive le
30 rayonnement EUV 82 à réfléchir.

Contrairement au miroir multicouches connu de la figure 8, dans le miroir multicouches de la figure 10, l'épaisseur des paires de couches adjacentes de l'empilement est une fonction croissante de la
5 profondeur dans l'empilement, cette profondeur étant comptée à partir de la surface libre 80 de l'empilement.

Dans l'exemple représenté sur la figure 10, les premier et deuxième matériaux sont encore
10 respectivement le molybdène et le silicium et le substrat 74 est en silicium. Cependant, on pourrait aussi utiliser le béryllium en tant que deuxième matériau et le substrat 74 pourrait être en germanium.

Dans l'exemple de la figure 10,
15 l'empilement est composé de plusieurs groupes comprenant chacun une pluralité de bi-couches (une couche de premier matériau et une couche adjacente de deuxième matériau), par exemple sept bi-couches ou huit bi-couches, et l'épaisseur de ces groupes va en
20 augmentant depuis la surface libre 80 de l'empilement jusqu'au substrat 74. Les accroissements d'épaisseur des groupes forment par exemple une progression arithmétique et, dans chaque groupe, toutes les couches ont sensiblement la même épaisseur.

25 A titre d'exemple, on trouve en allant de la surface libre 80 jusqu'au substrat 74, sept paires ayant une épaisseur totale E_1 puis sept paires ayant une épaisseur totale $E_1 + \Delta E$ puis sept paires ayant une épaisseur totale $E_1 + 2\Delta E$ et ainsi de suite jusqu'au
30 substrat 74.

Dans le miroir multicouches de la figure 10, l'épaisseur totale de l'empilement de couches vaut par exemple 1 μm .

Le rayonnement EUV 82 se réfléchit sur les
5 dioptries consécutifs formés entre le matériau lourd et le matériau léger. Si la condition d'interférence constructive entre les ondes réfléchies sur les différents dioptries est réalisée ($2d \times \sin\theta = kx\lambda$), le rayonnement sort de la multicouches (loi de Bragg).

10 L'épaisseur du substrat 74 dépend de la forme et de la qualité de polissage de ce substrat. Cette épaisseur du substrat 74 est comprise entre 5 mm et 40 mm.

Pour fabriquer un empilement du genre de
15 celui de la figure 10, on dépose successivement toutes les couches 78 et 76, avec les épaisseurs souhaitées, sur le substrat 74, par exemple au moyen d'une technique de pulvérisation cathodique (« cathodic sputtering »).

20 Certes, il est connu d'utiliser des multicouches ayant une configuration comparable à celle de la figure 10 mais pour un tout autre domaine de longueurs d'onde et pour une tout autre fonction : ces empilements multicouches connus servent de filtres
25 passe-bande pour des rayonnements du domaine visible.

Il convient de noter que, dans le domaine EUV, la conception des miroirs multicouches utilisables dans l'invention est particulière notamment en ce qui concerne la nature, les épaisseurs, les densités, les
30 constantes optiques des matériaux et la qualité des dépôts.

Dans le dispositif de lithographie de la figure 3 les miroirs multicouches avec lesquels sont formés le collecteur 26, le masque 24 et les moyens optiques 29 de projection et de réduction sont des 5 miroirs multicouches du genre de celui de la figure 10 et aptes à réfléchir des rayonnements EUV dont les longueurs d'onde sont centrées sur une longueur d'onde déterminée (par exemple 12 nm).

En particulier le collecteur 26 peut être 10 formé par la réunion de plusieurs collecteurs élémentaires constituant des miroirs multicouches du genre de celui de la figure 10.

La figure 9 montre la courbe II représentative des variations du pouvoir réflecteur P 15 (en unités arbitraires) en fonction de l'énergie En (en eV), pour un miroir multicouches utilisable dans l'invention, par exemple du genre de celui de la figure 10.

On voit l'augmentation importante de la 20 largeur à mi-hauteur qui vaut 9 eV pour la courbe II, par rapport à un miroir multicouches de l'art antérieur (courbe I).

Dans l'invention on augmente donc bien la bande passante des miroirs multicouches pour 25 rayonnement EUV.

On explique maintenant une manière de minimiser les déformations thermiques subies par un miroir multicouches quelconque, en particulier un miroir multicouches utilisable dans l'invention, 30 lorsque ce miroir multicouches est exposé à un rayonnement EUV intense.

Pour obtenir un tel miroir, on dépose par exemple, sur un substrat en silicium, poli optiquement à la forme désirée, une centaine de paires de couches d'épaisseurs appropriées (les couches de matériau lourd alternant avec les couches de matériau léger), pour obtenir une épaisseur totale de couches de l'ordre de 1 μm . Cette épaisseur est donc négligeable par rapport à celle du substrat (par exemple quelques millimètres) qui assure la forme du miroir multicouches.

Les déformations d'un miroir plan soumis à une densité de flux thermique sur sa face avant sont de nature géométrique. Ces déformations ont deux composantes.

La première composante est parallèle à la surface de la plaque formant le miroir. Cette première composante conduit à une courbure sphérique générale par un effet de bilame et résulte de la différence de température entre la face avant et la face arrière du miroir.

La deuxième composante est perpendiculaire à la surface du miroir et provoque une déformation locale, à savoir une augmentation locale, de l'épaisseur du miroir. Elle est due à l'inhomogénéité de la densité du flux thermique auquel est soumis le miroir.

La courbure générale (effet de bilame) est schématiquement illustrée par la figure 11. On voit le rayonnement EUV 84 incident sur le miroir multicouches 86.

La différence de température ΔT_s entre la face avant et la face arrière du miroir provoque une

courbure générale sphérique avec une pente maximale associée Δp .

Pour un miroir non refroidi, dont les bords sont libres, cette pente s'exprime par l'équation
5 suivante où ϕ est la densité de flux thermique (en W/mm^2), α le coefficient de dilatation thermique du miroir, k la conductivité thermique du miroir, C une constante qui vaut 1 pour une courbure sphérique et 1/2 dans le cas d'une courbure cylindrique et l_i la moitié
10 de la longueur du miroir :

$$\Delta p = C \times (\alpha/k) \times \phi \times l_i.$$

Cette pente associée à la courbure générale varie de manière linéaire avec le flux incident. Elle est d'autant plus grande que le rapport α/k est grand
15 et que les dimensions du faisceau sur le miroir sont importantes.

La pente Δp est indépendante de l'épaisseur du miroir et de l'angle d'attaque du rayonnement sur ce miroir. Le rayon de courbure associé à la déformation
20 du miroir ne dépend pas des dimensions de ce miroir. Ce rayon de courbure R s'exprime par la relation :

$$R = \phi^{-1} \times (k/\alpha).$$

On considère maintenant la déformation locale qui est schématiquement illustrée sur la figure
25 12. Cette déformation locale est due à la dilatation du miroir perpendiculairement à sa surface. Elle est due à l'inhomogénéité du flux incident sur le miroir. Cette inhomogénéité est induite par la divergence angulaire du faisceau 84 qui peut par exemple suivre une loi de
30 distribution gaussienne.

La pente maximale Δh associée à cette déformation locale s'exprime par la relation suivante :

$$\Delta h = 2 \times (\alpha/k) \times (e^2/L_i) \times \varphi_0.$$

Dans cette formule, φ_0 est la densité de
5 flux au centre de l'empreinte du faisceau sur le miroir multicouches, e l'épaisseur de ce miroir, α le coefficient de dilatation thermique, k la conductivité thermique du miroir et L_i la largeur à mi-hauteur de l'empreinte du faisceau sur le miroir.

10 La pente Δh varie de manière linéaire avec le flux incident. Elle est d'autant plus grande que le rapport α/k est grand et que l'impact du faisceau sur le miroir est faible. Cette pente varie comme le carré de l'épaisseur du miroir.

15 Pour réduire les effets de ces déformations mécaniques il faut que l'empreinte du faisceau sur le miroir multicouches ait de grandes dimensions, pour « étendre » la densité de flux thermique, et il faut un miroir de faible épaisseur, peu absorbant vis-à-vis du
20 rayonnement et possédant un faible rapport α/k .

L'empreinte du faisceau sur le miroir multicouches dépend de l'angle d'attaque choisi pour la réflexion. Cet angle d'attaque est voisin de 90° , ce qui minimise l'empreinte du faisceau.

25 Les choix de la nature du miroir et de son épaisseur dépendent des techniques de polissage permettant d'obtenir la forme et la rugosité souhaitées.

La conductivité thermique k et le
30 coefficient de dilatation α varient en fonction de la

température. Comme le montre la figure 13, dans le cas du silicium, on peut profiter du très faible coefficient de dilatation α de ce matériau, associé à une forte conductivité thermique k lorsque la

5 température est voisine de 125 K.

On voit sur cette figure 13 la courbe II représentative des variations du coefficient α de dilatation thermique du silicium (en 10^{-6} K^{-1}) en fonction de la température T (en K) et la courbe I

10 représentative des variations de la conductivité thermique k (en W/m.K) en fonction de la température (en K).

Dans ce cas, le rapport α/k tend vers 0 quand la température tend vers zéro, ce qui minimise

15 les déformations mécaniques dues au flux thermique. On se reportera à la figure 14 qui montre la courbe représentative des variations de α/k (en 10^{-6} m/W) en fonction de la température (en K).

De préférence, dans l'invention, on

20 refroidit donc les miroirs multicouches par exemple du genre de celui de la figure 10, à une basse température, voisine de 100 K, pour minimiser les déformations mécaniques dues au flux thermique lors de l'utilisation du dispositif de lithographie EUV, quel

25 que soit le matériau du substrat du miroir (silicium ou germanium par exemple).

La figure 15 illustre schématiquement cela. On y voit un miroir multicouches qui comprend un empilement 88 de couches alternées sur un substrat 90

30 et qui est refroidi. Pour ce faire, le miroir est placé sur un support 92 dans lequel on fait circuler de

l'azote liquide. En variante, ce support 92 contient un réservoir d'azote liquide.

On réduit ainsi les déformations du miroir multicouches lorsqu'il reçoit un flux important de rayonnement EUV 94.

Revenons à la figure 10. Dans l'exemple de cette figure 10, l'épaisseur des paires de couches adjacentes de l'empilement du miroir multicouches est une fonction croissante de la profondeur dans l'empilement. Cependant on obtient encore un miroir multicouches utilisable dans l'invention et comprenant un empilement dans lequel l'épaisseur des paires de couches adjacentes est une fonction décroissante de la profondeur dans cet empilement.

REVENDICATIONS

1. Dispositif de lithographie comprenant :

- un support (16) d'un échantillon destiné à être insolé suivant un motif déterminé,
 - 5 - un masque (24) comprenant le motif déterminé sous une forme agrandie,
 - une source (22) de rayonnement dans le domaine extrême ultraviolet,
 - des moyens optiques (26) de collection et de
10 transmission du rayonnement au masque, ce dernier fournissant une image du motif sous forme agrandie, et
 - des moyens optiques (29) de réduction de cette image et de projection de l'image réduite sur
15 l'échantillon,
- le masque, les moyens optiques de collection et de transmission et les moyens optiques de réduction et de projection comprenant des miroirs multicouches, chaque miroir multicouches comprenant un substrat (74) et, sur
20 ce substrat, un empilement de couches (76) d'un premier matériau et de couches (78) d'un deuxième matériau qui alternent avec les couches du premier matériau, ce premier matériau ayant un numéro atomique supérieur à celui du deuxième matériau, les premières et deuxièmes
25 couches coopérant pour réfléchir le rayonnement extrême ultraviolet, l'empilement ayant une surface libre (80) sur laquelle arrive le rayonnement à réfléchir, ce dispositif étant caractérisé en ce que la source comprend au moins une cible solide (28), ayant des
30 première et deuxième faces, cette cible étant apte à émettre le rayonnement extrême ultraviolet par

interaction avec un faisceau laser (34) focalisé sur la première face (30) de la cible, cette cible étant apte à émettre de façon anisotrope, une partie (36) du rayonnement extrême ultraviolet à partir de la deuxième face (37) de cette cible, en ce que les moyens optiques (26) de collection et de transmission sont prévus pour transmettre, au masque (24), la partie (36) du rayonnement extrême ultraviolet provenant de la deuxième face (37) de la cible de la source, et en ce que l'épaisseur de paires de couches adjacentes (76, 78) de l'empilement de couches que comprend chaque miroir est une fonction monotone de la profondeur dans l'empilement, cette profondeur étant comptée à partir de la surface libre (80) de l'empilement.

2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel la cible (28) contient un matériau qui est apte à émettre le rayonnement extrême ultraviolet par interaction avec le faisceau laser et l'épaisseur de la cible est comprise dans un intervalle allant d'environ 0,05 μm à environ 5 μm .

3. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, dans lequel la cible (28) contient un matériau qui est apte à émettre le rayonnement extrême ultraviolet par interaction avec le faisceau laser et dont le numéro atomique appartient à l'ensemble des numéros atomiques allant de 28 à 92.

4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, comprenant une pluralité de cibles (42) qui sont rendues solidaires les unes des autres, le dispositif comprenant en outre des moyens (48, 50) de déplacement de cette pluralité de cibles

pour que ces cibles reçoivent successivement le faisceau laser (34).

5. Dispositif selon la revendication 4, comprenant en outre des moyens de support (38, 44, 52) auxquels sont fixées les cibles (42) et qui sont aptes à laisser passer le faisceau laser en direction de ces cibles, les moyens de déplacement (48, 50) étant prévus pour déplacer ces moyens de support et donc les cibles.

6. Dispositif selon la revendication 5, dans lequel les moyens de support (52) sont aptes à absorber des rayonnements émis par la première face de chaque cible qui reçoit le faisceau laser et à réémettre ces rayonnements vers cette cible.

7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 5 et 6, dans lequel les moyens de support comprennent une ouverture (40, 46) en regard de chaque cible, cette ouverture étant délimitée par deux parois (54, 56) sensiblement parallèles l'une à l'autre et perpendiculaires à cette cible.

8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 5 et 6, dans lequel les moyens de support comprennent une ouverture en regard de chaque cible, cette ouverture étant délimitée par deux parois (55, 57) qui vont vers la cible en s'écartant l'une de l'autre.

9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, comprenant en outre des moyens auxiliaires fixes (58) qui sont aptes à laisser passer le faisceau laser (34) en direction de la cible, à absorber des rayonnements émis par la première face de

cette cible et à réémettre ces rayonnements vers cette cible.

10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, dans lequel l'empilement est subdivisé en ensembles d'au moins une paire de première et deuxième couches (76, 78) et l'épaisseur de ces ensembles est une fonction monotone de la profondeur dans l'empilement, cette profondeur étant comptée à partir de la surface libre (80) de l'empilement.

11. Dispositif selon la revendication 10, dans lequel les accroissements d'épaisseur de ces ensembles forment une progression arithmétique.

12. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 10 et 11, dans lequel les première et deuxième couches (76, 78) de chaque ensemble ont sensiblement la même épaisseur.

13. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, dans lequel les premier et deuxième matériaux sont respectivement le molybdène et le béryllium ou le molybdène et le silicium.

14. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, dans lequel le substrat (74) est fait d'un matériau qui est choisi parmi le silicium et le germanium.

15. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, dans lequel l'épaisseur du substrat (74) est comprise dans l'intervalle allant d'environ 5 mm à environ 40 mm et l'épaisseur de l'empilement vaut environ 1 μ m.

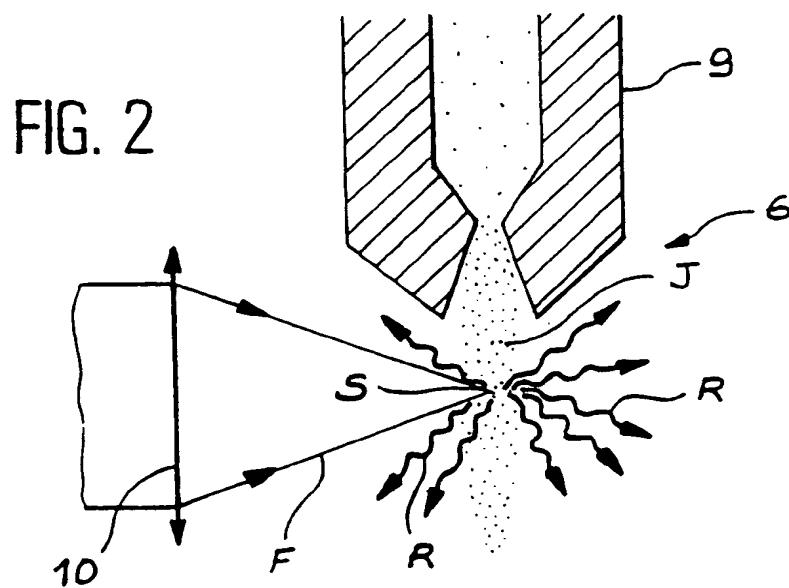
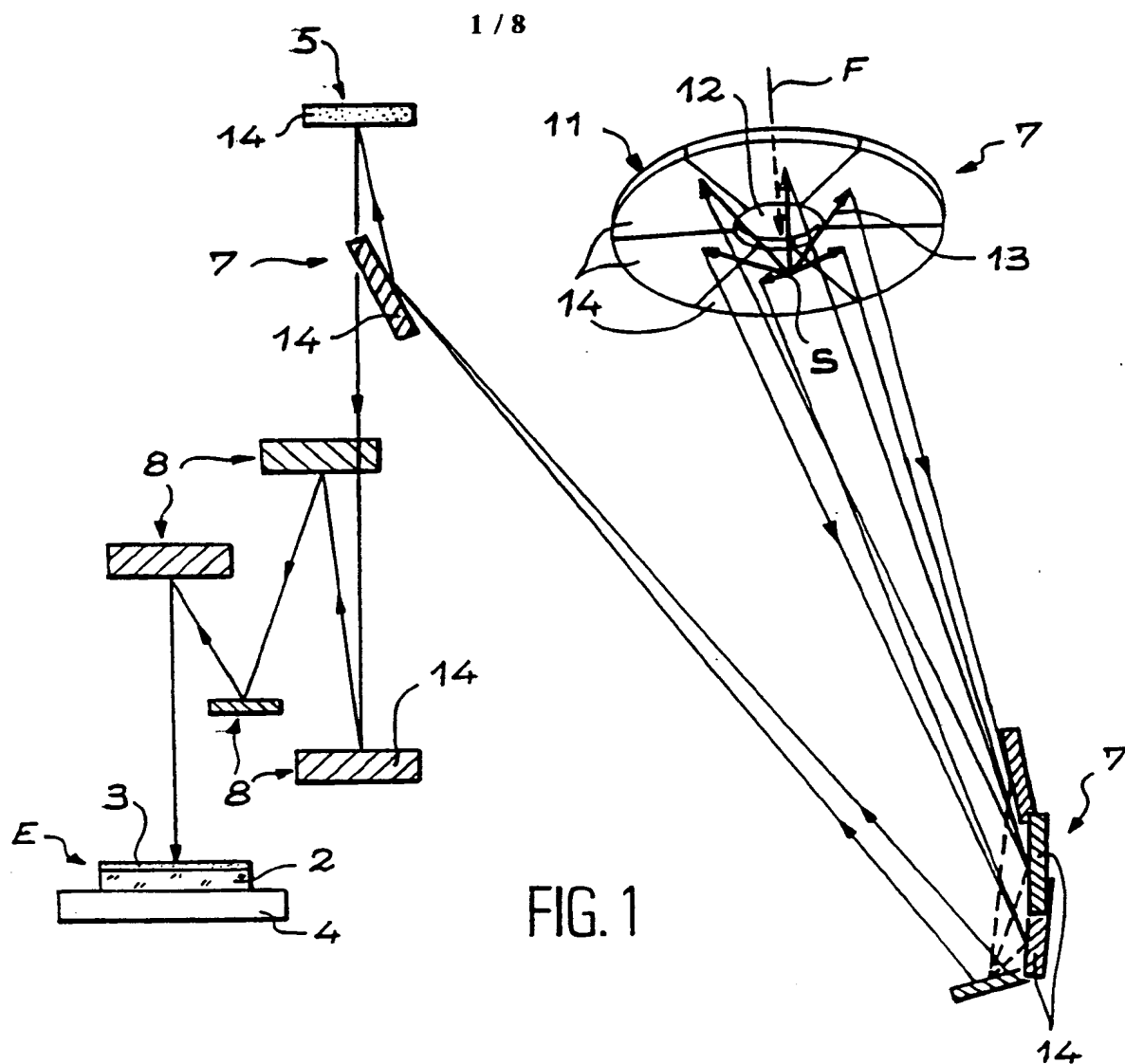
16. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 15, dans lequel chaque miroir

multicouches est muni de moyens (92) de refroidissement de ce miroir multicouches pour en réduire les déformations lors d'un éclairage par le rayonnement extrême ultraviolet.

5 17. Dispositif selon la revendication 16, dans lequel les moyens de refroidissement (92) sont prévus pour refroidir le miroir multicouches jusqu'à une température environ égale à 100 K.

10 18. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 16 et 17, dans lequel les moyens de refroidissement (92) sont des moyens de refroidissement par l'hélium liquide, le fréon, l'azote liquide ou un fluide de refroidissement caloporteur à basse température proche de 0 K.

15 19. Dispositif selon l'une quelconque de revendications 1 à 18, dans lequel l'échantillon comprend un substrat semiconducteur (18) sur lequel est déposée une couche (20) de résine photosensible qui est destinée à être insolée suivant le motif déterminé.



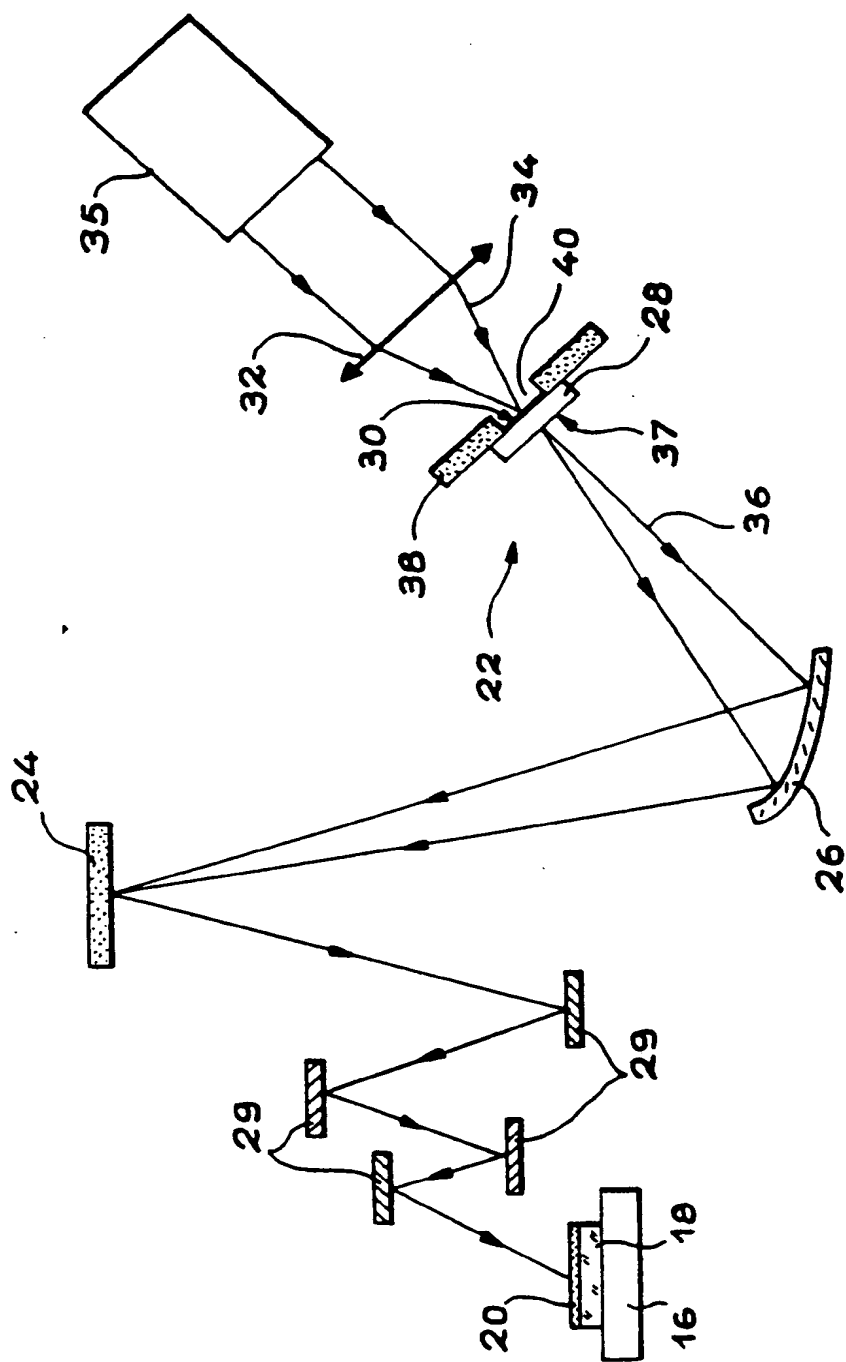
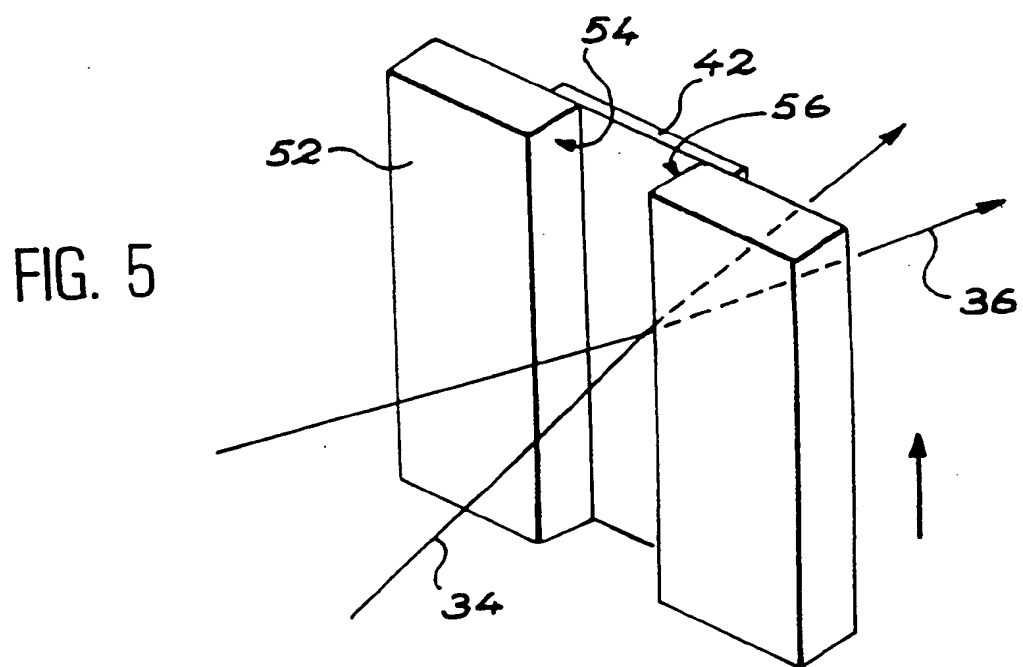
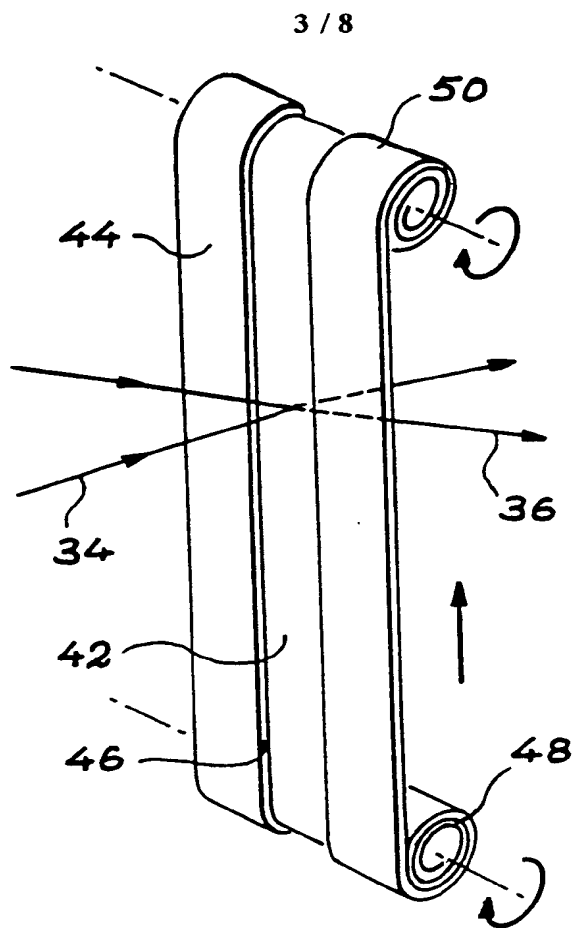


FIG. 3



4 / 8

FIG. 6

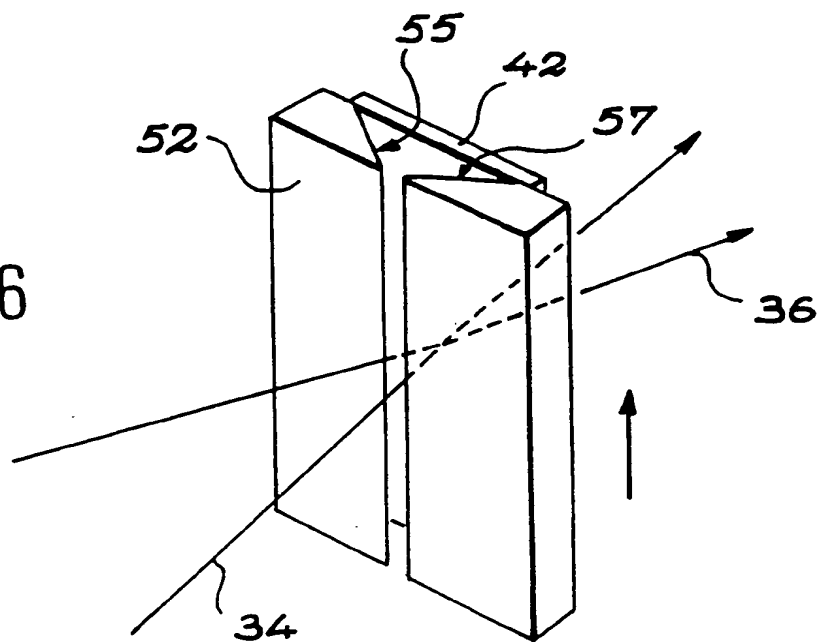
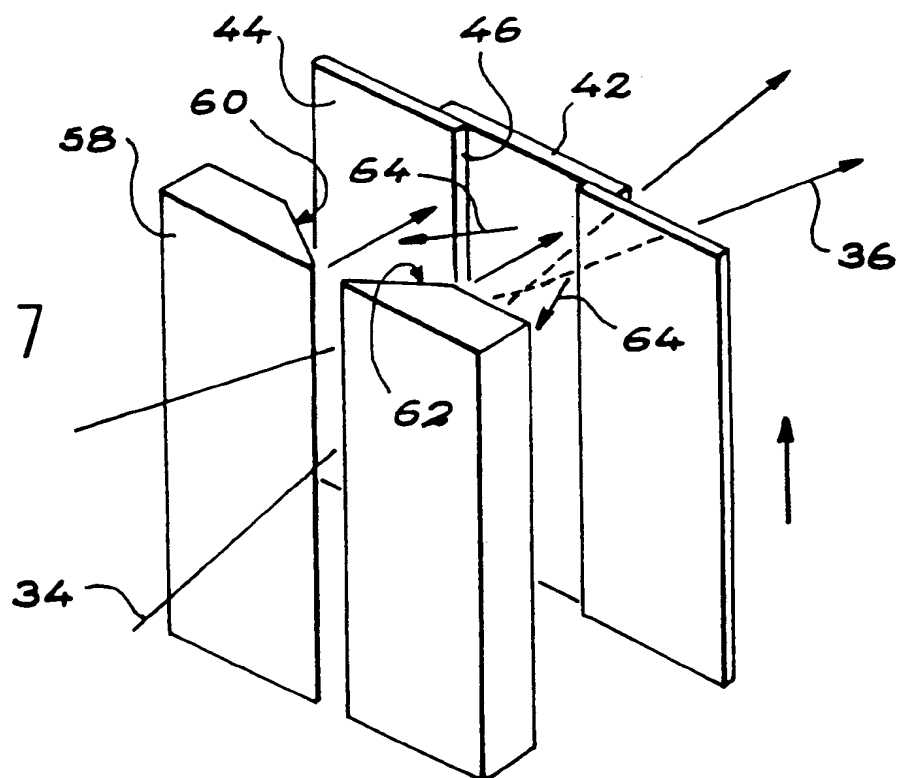


FIG. 7



5 / 8

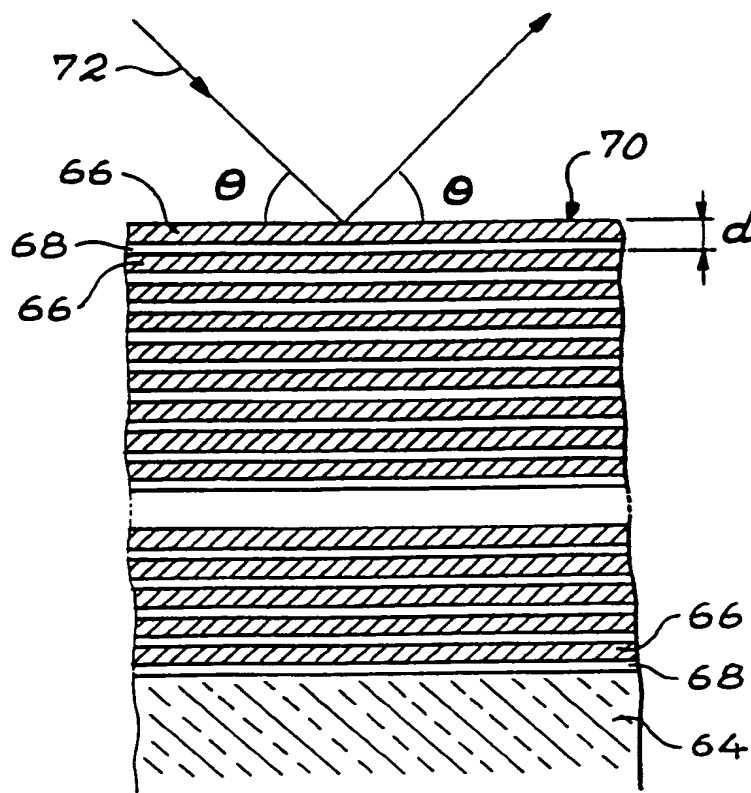


FIG. 8

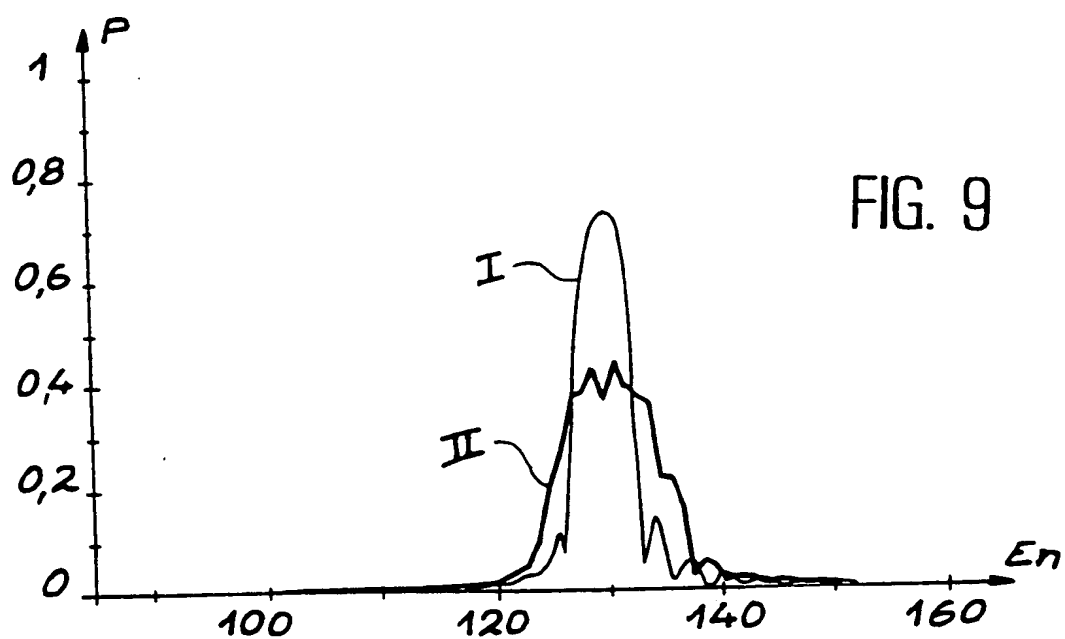


FIG. 9

6 / 8

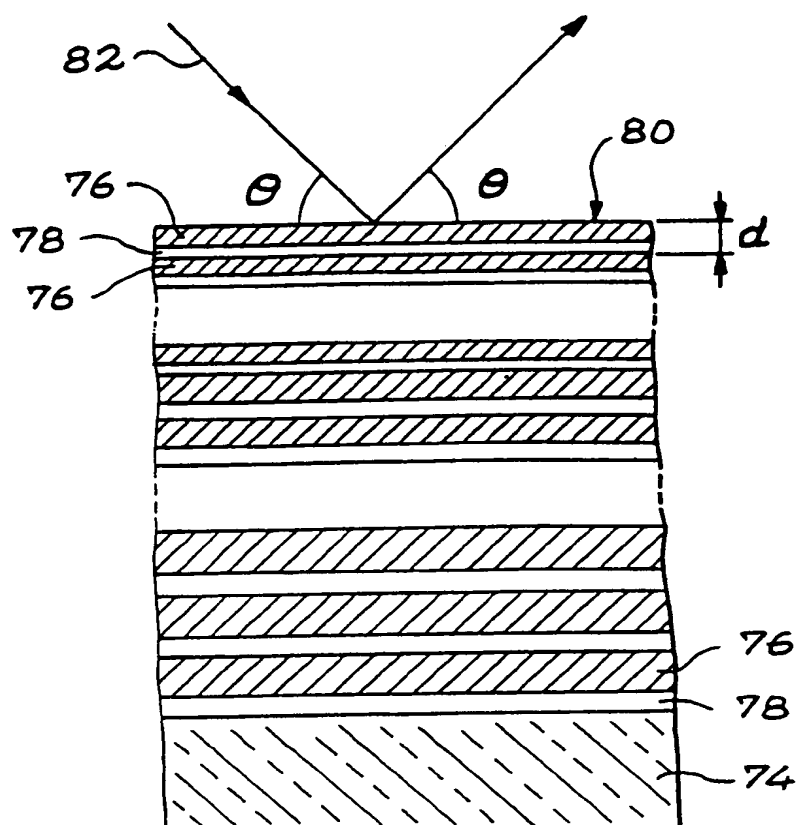


FIG. 10

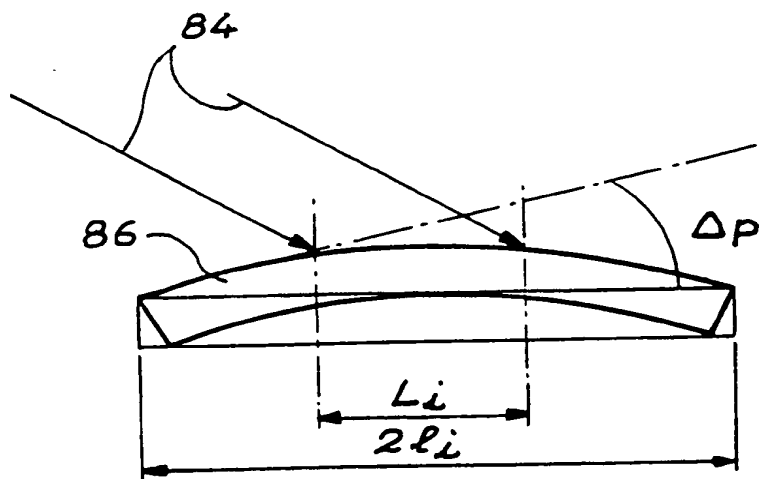


FIG. 11

7 / 8

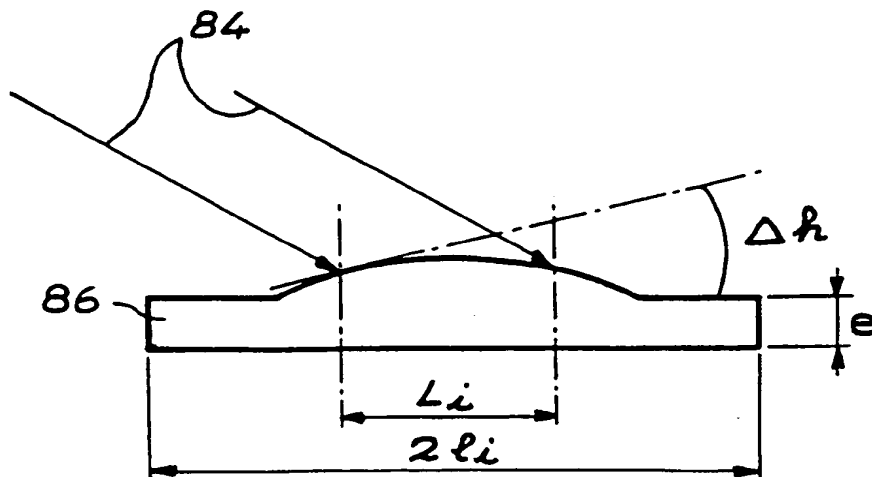


FIG. 12

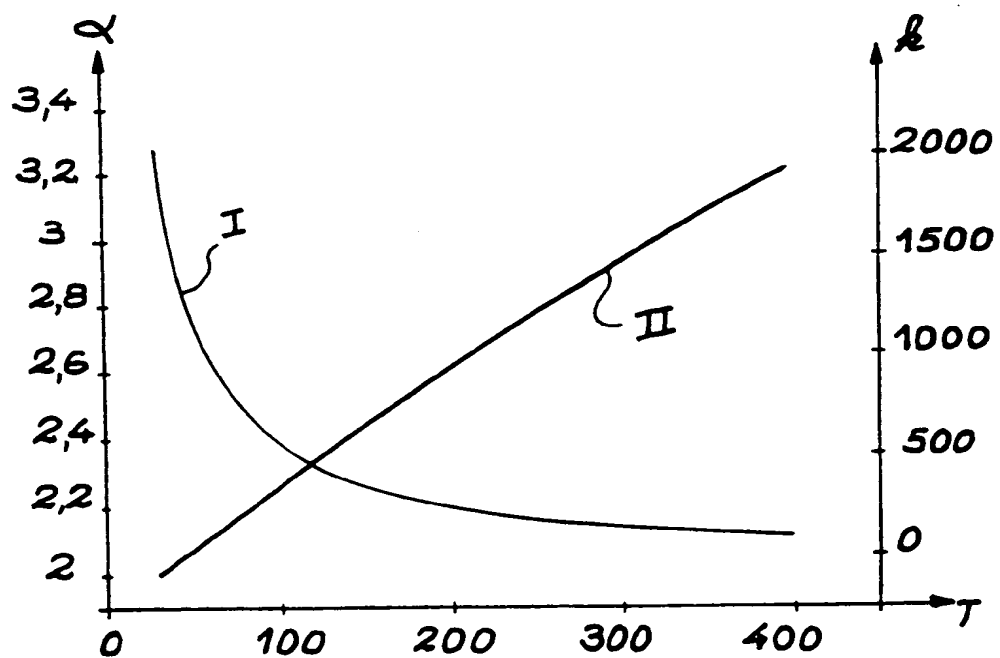


FIG. 13

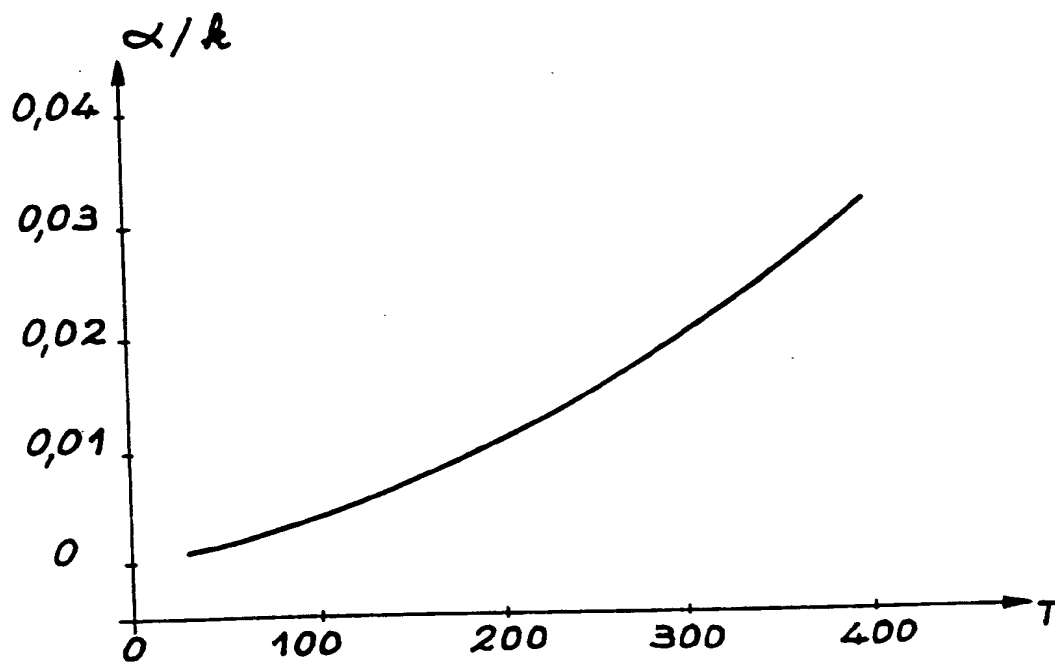


FIG. 14

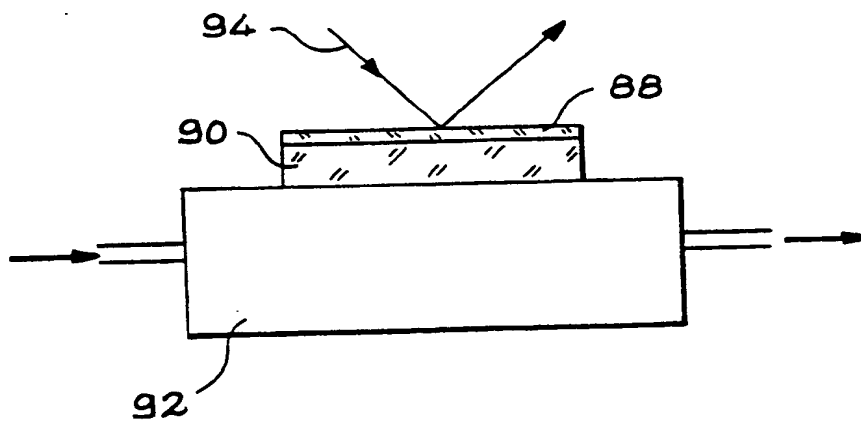


FIG. 15